

Penanganan Harmonisa Terhadap Peningkatan Kualitas Daya Listrik Berbasis Software Etap (Studi Kasus : Pabrik Semen Tonasa V)

Syafaruddin, Sartika¹, Alvira Octaviani²

Program Studi S2 Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Abstrak - Harmonisa adalah fenomena pembentukan deretan gelombang sinusoidal berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Bila terjadi superposisi antara gelombang frekuensi fundamental dengan gelombang frekuensi harmonisa maka terbentuklah frekuensi gelombang yang terdistorsi sehingga bentuk gelombang tidak lagi sinusoidal. Pabrik Semen Tonasa merupakan perusahaan industri yang bergerak dibidang produksi semen. Pada tugas akhir ini dilakukan simulasi kasus harmonisa untuk mengetahui besar *Total Harmonics Distortion* (THD) yang terjadi, jenis harmonisa dan menentukan *harmonic filter* yang sesuai dengan sistem. Sistem yang disimulasikan adalah sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V pada jaringan distribusi 6.3 kV. Simulasi harmonisa pada sistem kelistrikan pabrik Tonasa V PT Semen Tonasa dilakukan dengan menggunakan software ETAP *Power Station 7.0.0*, merupakan software yang dapat menampilkan secara *graphical interface*. Dilakukan beberapa simulasi yaitu saat sebelum dan setelah terpasang *harmonic filter*. Hasil yang diperoleh dari simulasi tersebut, yaitu nilai THD tegangan tanpa filter harmonisa sebesar 5.24% pada bus B.TR.EP. Saat filter harmonisa diaktifkan nilai THD tegangan sebesar 4.01% pada bus B.TR.EP.

Kata kunci: Harmonisa, ETAP *Power Station 7.0.0*, *Total Harmonics Distortion*, *harmonic filter*.

I. PENDAHULUAN

Power quality atau kualitas daya listrik adalah ukuran tingkat kualitas jaringan listrik yang dikaitkan dengan tingkat efisiensi dari penggunaan energi listrik. Kualitas daya listrik juga merupakan syarat yang harus dipenuhi agar peralatan-peralatan listrik berbasis komponen elektronik yang sensitif terhadap variasi tegangan dapat berfungsi dengan benar. Jika kualitas daya tidak terpenuhi karena adanya harmonisa maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut.

Penyebab dari gangguan harmonisa adalah banyaknya peralatan yang digunakan dalam sektor industri berbasis elektronika daya, terutama peralatan yang menggunakan komponen *converter* dan *thyristor*. Contoh peralatan-peralatan ini adalah penyearah, *Variable Speed Drive* (VFD) untuk mengendalikan motor-motor industri, *thyristor controlled reactor*, serta peralatan yang didasarkan pada proses penyaklaran. Untuk beban yang menimbulkan harmonisa seperti *electric arc furnace*, *induction furnace*, mesin las, di mana beban tersebut berubah dari waktu ke waktu dengan cepat secara non linear.

Beberapa penelitian menyebutkan, tegangan harmonik dapat menyebabkan kenaikan arus pada penghantar netral

sehingga mengakibatkan kenaikan rugi-rugi daya[1]. Harmonik dapat menyebabkan pemutusan beban yang sensitif, penurunan keakuratan alat ukur, kegagalan kapasitor tenaga, pemanasan lebih pada transformator dan penghantar netral[2]. Harmonik juga mempengaruhi biaya pemakaian energi listrik[3], resonansi dalam sistem tenaga listrik dan penurunan faktor daya listrik[4].

Perangkat lunak *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) merupakan perangkat lunak (*software*) yang mampu menganalisa harmonisa suatu sistem kelistrikan yang ditampilkan secara grafik dan bekerja secara langsung dengan tampilan single line diagram atau diagram satu garis. Dengan menggunakan ETAP, dapat diketahui besar pengaruh harmonisa terhadap kualitas daya suatu sistem kelistrikan.

Sistem kelistrikan yang akan diambil sebagai studi kasus adalah sistem distribusi 6,3 kV di PT Semen Tonasa. PT Semen Tonasa merupakan industri dengan spesialisasi usaha dibidang produksi semen, di mana dalam mesin produksinya banyak menggunakan beban non linear yang memicu terjadinya harmonisa. Jika harmonisa terjadi pada suatu sistem melebihi batas yang diijinkan akan menyebabkan beberapa masalah, antara lain pemanasan pada kawat netral dan transformator, kesalahan pada sistem proteksi, kerusakan pada kapasitor bank, penyimpanan penunjukkan alat ukur dan menimbulkan rugi-rugi pada transmisi dan distribusi tenaga listrik.

Karena komponen arus harmonisa dapat mempengaruhi sistem distribusi dan menimbulkan rugi-rugi pada sistem kelistrikan. Maka, perlu dilakukan studi seberapa besar dampak harmonisa terhadap kualitas sistem kelistrikan pabrik Tonasa V.

II. LANDASAN TEORI

Harmonisa menurut *International Electrotechnical Commission* (IEC) 6100-2-1-1990 didefinisikan sebagai tegangan ataupun arus sinusoidal yang mempunyai kelipatan frekuensi sistem pasokan tenaga listriknya sebagaimana yang dirancang untuk dioperasikan (50 Hz ataupun 60 Hz).

Untuk lebih mudah memahami dasar harmonisa, diberikan contoh dan gambar sederhana dimana frekuensi harmonisa dari gelombang arus dan tegangan dengan *multiple* frekuensi dari frekuensi dapat dilihat pada persamaan berikut[6]:

$$f_h = (h) \times \text{frekuensi dasar} \quad (1)$$

Di mana h = bilangan bulat

Dari bentuk gelombang tersebut dapat diuraikan sebagai berikut[8]:

$$i_1 = I_{m1} \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

$$i_3 = I_{m3} \cdot \sin(3\omega t - \delta_3) \quad (3)$$

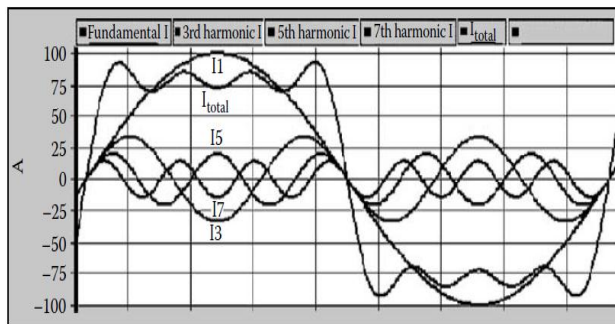
$$i_5 = I_{m5} \cdot \sin(5\omega t - \delta_5) \quad (4)$$

$$i_7 = I_{m7} \cdot \sin(7\omega t - \delta_7) \quad (5)$$

Dengan I_{mh} = nilai puncak RMS dari arus harmonisa dan total distorsi arus harmonisa dapat diuraikan ke dalam persamaan berikut:

$$I_{total} = I_{m1} \cdot \sin \omega t + I_{m3} \cdot \sin(3\omega t - \delta_3) + I_{m5} \cdot \sin(5\omega t - \delta_5) + I_{m7} \cdot \sin(7\omega t - \delta_7) \quad (6)$$

Sehingga gelombang yang terdistorsi dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan frekuensi dasar dengan frekuensi harmonisa dan amplitudonya seperti yang terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 1. Bentuk Gelombang 60 Hz terdistorsi harmonisa ke-3, ke-5 dan ke-7.

Orde harmonisa adalah perbandingan frekuensi harmonisa dengan frekuensi dasar, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut[7]:

$$h = \frac{f_k}{F} \quad (7)$$

Di mana:

h = orde harmonisa

f = frekuensi harmonisa ke-h

F = frekuensi dasar

Total Harmonic Distortion (THD) adalah indeks penting yang secara luas digunakan untuk mengetahui kualitas daya listrik pada sistem transmisi dan distribusi. THD menyatakan besarnya distorsi yang ditimbulkan oleh semua komponen harmonisa, dapat didefinisikan dengan persamaan berikut [7]:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (8)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (9)$$

Keterangan:

THDV = *Total Harmonic Distortion* Tegangan [%]

THDI = *Total Harmonic Distortion* Arus [%]

V_h = Nilai rms tegangan harmonisa ke-h [Volt]

I_h = Nilai rms arus harmonisa ke-h [Ampere]

V_1 = Nilai rms tegangan pada frekuensi dasar [volt]

I_1 = Nilai rms arus pada frekuensi dasar [Ampere]

Tabel 2.1. IEEE STD. 519-1992, Voltage Distortion Limits

| Bus Voltage at PCC | IHDv (%) | THDv(%) |
|-----------------------|----------|---------|
| 69 kV and below | 3,0 | 5,0 |
| 69.001 kV through 161 | 1,5 | 2,5 |
| 161 kV and above | 1,0 | 1,5 |

Keterangan:

IHDv adalah *Individual Harmonics Voltage Distortion*

THDv adalah *Total Harmonics Voltage Distortion*

Tabel 2.2. IEEE STD. 519-1992 IEEE-519 Maximum Odd-Harmonic Current Distortion, (%) Limits for General Distribution Systems (120 Volts-69,000 Volts)

| I_{sc}/I_L | $n < 11$ | $11 < n < 17$ | $17 < n < 23$ | $23 < n < 35$ | $35 < n$ | TD D |
|--------------|----------|---------------|---------------|---------------|----------|------|
| <20 | 4,0 | 2,0 | 1,5 | 9,6 | 0,3 | 5,0 |
| 20<50 | 7,0 | 3,5 | 2,5 | 1,0 | 0,5 | 8,0 |
| 50<100 | 10,0 | 4,5 | 4,0 | 1,5 | 0,7 | 12,0 |
| 100<1000 | 12,0 | 5,5 | 5,0 | 2,0 | 1,0 | 15,0 |
| >1000 | 15,0 | 7,0 | 6,0 | 2,5 | 1,4 | 20,0 |

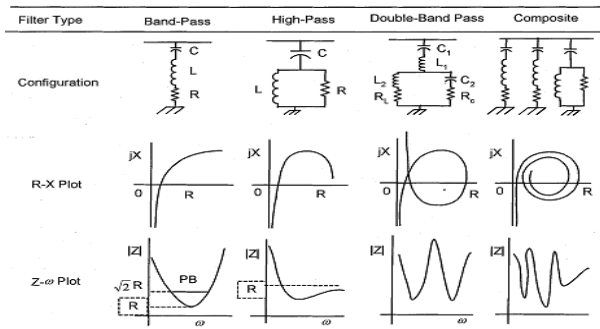
Keterangan :

n adalah orde harmonisa

I_L adalah arus beban fundamental

I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Couple*)

Fungsi filter pasif secara sederhana dapat dikatakan sebagai “jalan” yang harus dilewati harmonisa sehingga harmonisa tidak sampai lewat pada sistem dan beban lain yang mengganggu sistem. Sedangkan filter aktif dibentuk dari peralatan elektronika daya yang lebih mahal daripada filter pasif. Filter pasif dibentuk dari kapasitor, induktor dan resistor. Terdapat berbagai macam konfigurasi filter pasif, antara lain *band pass (single tune)*, *high pass*, *double band pass*, and *composite*. Gambar 5 berikut ini menyajikan bentuk konfigurasi, plot R-X, dan plot Z- ω .



Gambar 2. Macam-macam konfigurasi filter pasif.

III. METODOLOGI

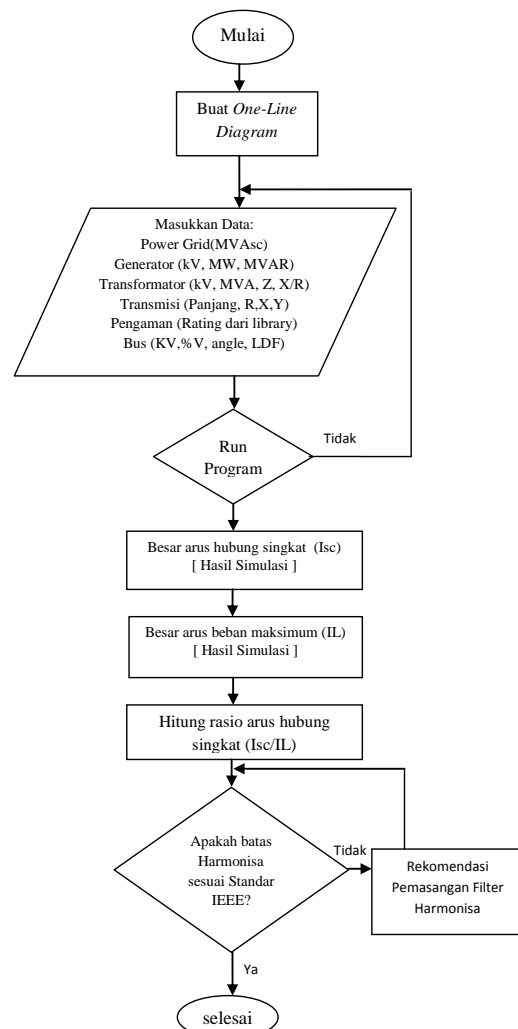
Pada penelitian ini akan dilakukan kajian mengenai penanganan besar harmonisa terhadap peningkatan kualitas daya listrik pada jaringan distribusi kelistrikan pabrik semen Tonasa, sebab bila distorsi harmonisa melebihi batas yang diijinkan dapat mengakibatkan peningkatan panas pada peralatan (transformator, kabel penghantar, dll) yang kemudian dapat mengakibatkan peningkatan pada rugi-rugi serta penurunan efisiensi dari sistem distribusi. Untuk tujuan analisis akan dilakukan pemodelan sistem kelistrikan pabrik Semen Tonasa dengan software ETAP. Hasil kajian ini diharapkan dapat mengetahui besar harmonisa, mengidentifikasi jenis harmonisa dan pemasangan filter harmonisa yang sesuai pada sistem distribusi kelistrikan pabrik semen Tonasa V.

Penelitian ini merupakan studi kasus, yang diawali dengan perumusan masalah, melakukan kajian studi pustaka, pengumpulan data, analisa data, interpretasi hasil, dan penarikan kesimpulan dengan uraian sebagai berikut :

1. *Studi literature*, meliputi studi pustaka, internet, buku-buku dan referensi lainnya terkait kualitas daya (*power quality*), kualitas sistem tenaga dan harmonisa, pengaruh harmonisa pada sistem tenaga, metode perhitungan dan simulasi.
2. *Pengumpulan data*, Penulis melaksanakan pengumpulan data-data sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V berupa Single line diagram, data peralatan pabrik semen

Tonasa V (*name plate* transformator, motor, generator, dll)

3. *Pengolahan data*, setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan selanjutnya data tersebut diolah dan dimodelkan dalam bentuk simulasi, meliputi simulasi harmonik dengan software ETAP Power Station 7.0.0.
4. *Analisa Hasil*, Analisa yang akan dilakukan meliputi hasil simulasi terhadap level THD(*Total Harmonics Distortion*) tegangan maupun arus dan mengidentifikasi jenis harmonisa berdasarkan orde pada sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V,
5. *Penarikan Kesimpulan*, merupakan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan diberikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.



Gambar 3. Flowchart penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

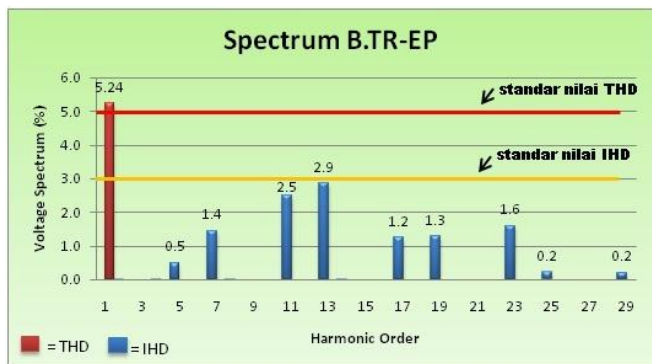
Simulasi dilakukan dengan 5 kondisi yang berbeda-beda, yaitu:

- Saat filter harmonisa belum terpasang pada system,
- Saat filter harmonisa terpasang pada 3 sub station (581 SS 51, 581 SS 52, 581 SS 53),
- Saat fiter harmonisa pada sub station 581 SS 51 dilepas,
- Saat filter harmonisa pada sub station 581 SS 52 dilepas,
- Saat filter harmonisa pada sub station 581 SS 53 dilepas.

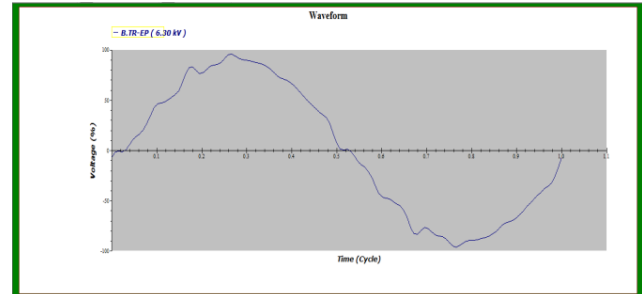
Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan nilai THD tegangan dan arus pada tiap-tiap bus pada sistem dengan kondisi pemasangan filter yang berbeda-beda serta dapat mengetahui jenis konten harmonisa yang dominan pada sistem distribusi 6,3 kV pabrik Tonasa V. Dengan simulasi tersebut, kita juga dapat mengetahui apakah pemakaian filter harmonisa yang telah terpasang pada pabrik Tonasa V sudah optimal atau belum.

• Simulasi tanpa Filter Harmonisa

Nilai Distorsi Harmonisa pada simulasi ETAP digambarkan secara *Spectrum* maupun *waveform*. Di bawah ini menunjukkan distorsi harmonisa yang terjadi pada bus B.TR.EP, yang merupakan bus dengan nilai distorsi tertinggi,



Gambar 4. Grafik *Spectrum* B.TR.EP saat belum ada filter harmonisa

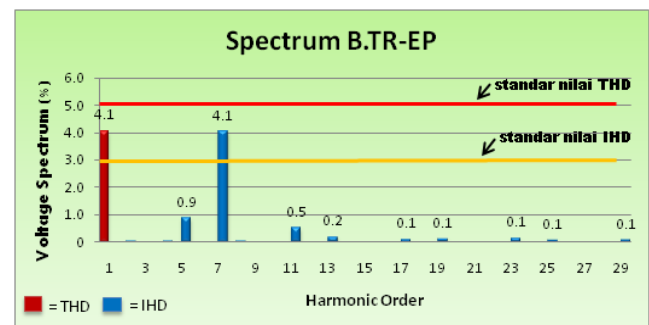


Gambar 5. Gelombang terdistorsi B.TR.EP saat belum ada filter harmonisa.

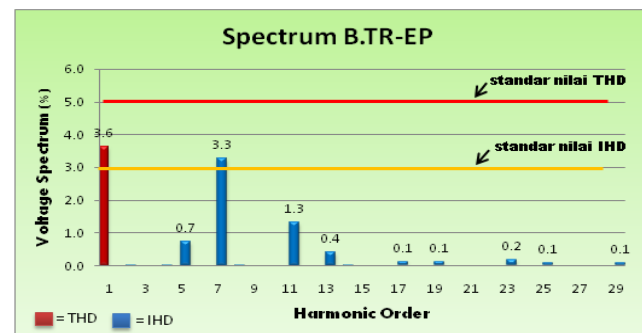
• Simulasi dengan Filter Harmonisa

Simulasi saat filter harmonisa telah terpasang pada 3 bus sub station. Nilai THD tegangan yang melebihi standar IEEE Std. 519-1992 tidak ditemukan lagi pada simulasi ini. Sedangkan nilai THD arus masih ada yang melebihi batas standar yang terjadi pada bus yang sama dengan simulasi sebelum terpasang filter harmonisa dengan rata-rata kenaikan sebesar 0.5%.

Di bawah ini menunjukkan distorsi harmonisa yang terjadi pada bus B.TR.EP, yang merupakan bus dengan nilai distorsi tertinggi digambarkan secara grafik dan gelombang terdistorsi.



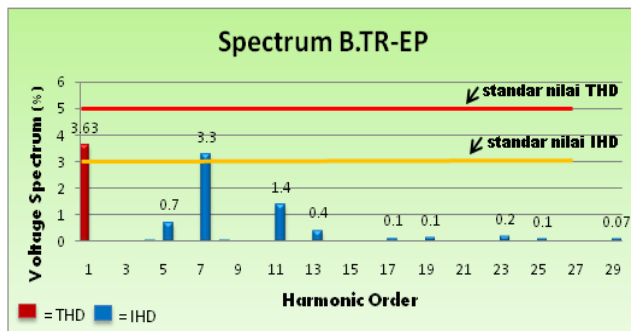
Gambar 6. Grafik *spectrum* B.TR.EP saat semua filter harmonisa bekerja



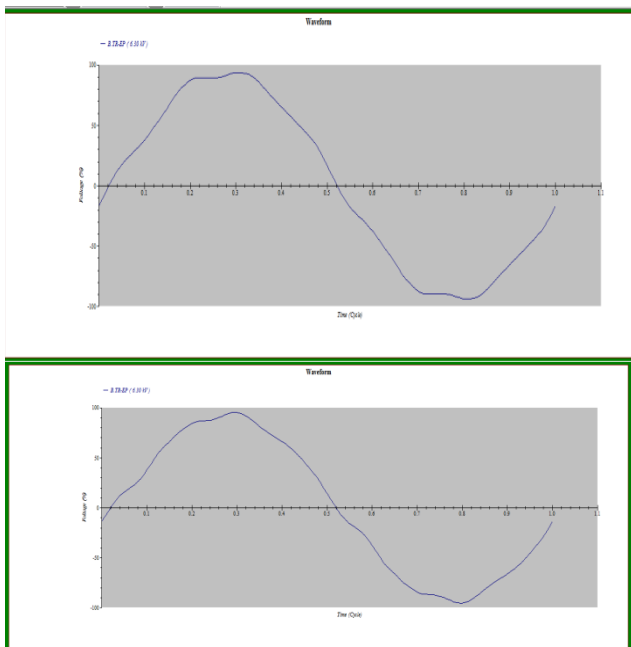
Gambar 7. Grafik *Spectrum* B.TR.EP semua filter harmonisa bekerja.

- **Simulasi dengan Filter Harmonisa Bus 581 SS 51 dilepas**

Pada simulasi ini, filter harmonisa yang aktif hanya pada bus 581 SS 52 dan 581 SS 53. Sedangkan filter pada bus 581 SS 51 dilepas. Di bawah ini menunjukkan distorsi harmonisa yang terjadi pada bus B.TR.EP, yang merupakan bus perbandingan dengan hasil simulasi pada saat semua filter harmonisa terpasang.



Gambar 8. Grafik *spectrum* B.TR.EP saat filter harmonisa bus 581 SS 51 dilepas.



Gambar 9. Gelombang terdistorsi B.TR.EP saat filter harmonisa bus 581 SS 51 dilepas

- **Simulasi dengan Filter Harmonisa Sub Station 581 SS 52 dilepas**

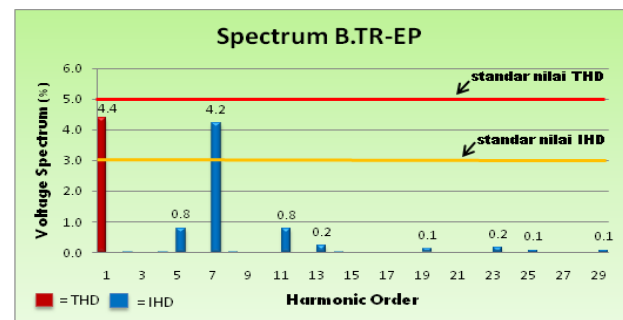
Pada simulasi ini, filter harmonisa yang aktif hanya pada bus 581 SS 52 dan 581 SS 53. Sedangkan filter pada bus 581 SS 52 dilepas. Di bawah ini menunjukkan distorsi harmonisa yang terjadi pada bus B.TR.EP, yang merupakan

bus perbandingan dengan hasil simulasi pada saat semua filter harmonisa terpasang.

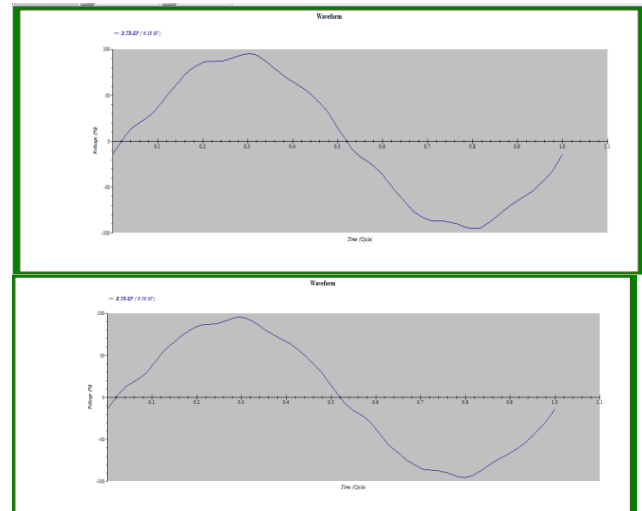
Gambar 11. Gelombang terdistorsi B.TR.EP saat filter harmonisa bus 581 SS 52 dilepas

- **Simulasi dengan Filter Harmonisa Sub Station 581 SS 53 dilepas**

Pada simulasi ini, filter harmonisa yang aktif hanya pada bus 581 SS 51 dan 581 SS 52. Sedangkan filter pada bus 581 SS 53 dilepas. Di bawah ini menunjukkan distorsi harmonisa yang terjadi pada bus B.TR.EP, yang merupakan bus perbandingan dengan hasil simulasi pada saat semua filter harmonisa terpasang.



Gambar 12. Grafik *spectrum* B.TR.EP saat filter harmonisa 581 SS 53 dilepas



Gambar 13. Gelombang terdistorsi B.TR.EP saat filter harmonisa 581 SS 53 dilepas

Analisis Hasil Simulasi Harmonisa

Dari hasil simulasi diperoleh konten harmonisa yang dominan adalah orde 7, orde 11 dan orde 13.

Besarnya nilai konten harmonisa pada setiap simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.:

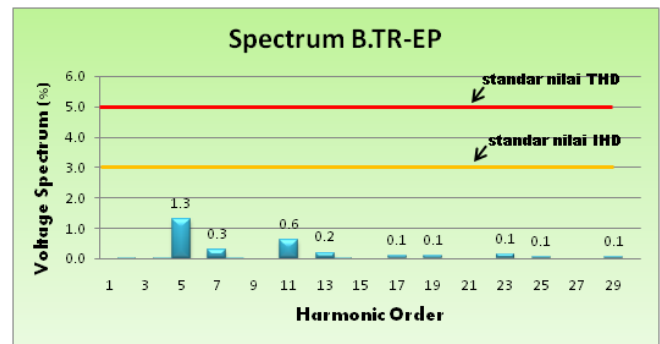
Dari tabel diatas diketahui bahwa konten harmonisa yang perlu di filter adalah orde 7,orde 11 dan orde 13 karena ketiga orde ini yang paling besar nilainya. Sehingga filter yang seharusnya terpasang adalah filter yang mampu menurunkan nilai dari ketiga konten harmonisa tersebut. Pada kenyataannya di sistem, filter harmonisa yang terpasang merupakan filter untuk konten harmonisa orde 5, orde 11 dan orde 13. Akibatnya, kita lihat pada tabel 4.21 nilai konten harmonisa orde 7 pada saat semua filter terpasang, nilainya bertambah besar dari sebelum filter terpasang.

Tabel 3. Nilai konten harmonisa pada bus B.TR-EP.

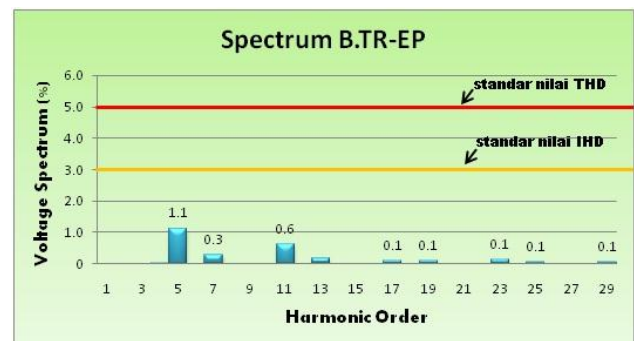
| Konten Harmonisa | Simulasi | | | | |
|------------------|--------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Tanpa filter | Filter terpasang semua | Filter bus 581 SS 51 dilepas | Filter bus 581 SS 52 dilepas | Filter bus 581 SS 53 dilepas |
| Orde 5 | 0.5 | 0.9 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| Orde 7 | 1.45 | 3.6 | 3.1 | 3.1 | 3.9 |
| Orde 11 | 2.5 | 0.5 | 1.2 | 1.2 | 0.7 |
| Orde 13 | 2.85 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| Orde 17 | 1.25 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Orde 19 | 1.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Orde 23 | 1.6 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Orde 25 | 0.75 | 0,1 | 0.1 | 0.1 | 0.15 |
| Orde 29 | 0.2 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0 |
| Orde 31 | 0.2 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0 |

Dari hasil analisis, kami menyarankan agar memasang filter untuk menurunkan konten harmonisa orde 7. Selanjutnya disimulasi kembali, yaitu keadaan saat filter untuk konten harmonisa orde 7 terpasang pada bus 581 SS 53 saja. Kemudian dibandingkan saat filter orde 7 terpasang dan meng-off-kan filter tipe 3rd Order C-Type yang ada pada bus 581 SS 51, 581 SS 52 dan 581 SS 53. Hasil dari perbandingan tersebut nilai distorsi saat filter orde 7 terpasang dan filter tipe 3rd Order C-Type dioff-kan hasilnya lebih rendah dibandingkan saat saat filter tipe 3rd

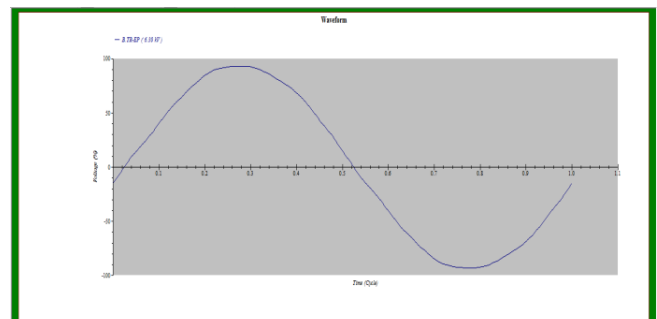
Order C-Type belum dioff-kan. Seperti yang terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 14. Grafik *spectrum* B.TR-EP saat sebelum filter 3rd Order C-Type dioff-kan



Gambar 15. Grafik *spectrum* B.TR-EP saat setelah filter 3rd Order C-Type dilepas.



Gambar 16. Gelombang terdistorsi B.TR-EP saat setelah filter 3rd Order C-Type dilepas

Kapasitas filter untuk menurunkan konten harmonisa orde 7 dapat dihitung dengan cara berikut ini :

Bus 581 SS 53 memiliki faktor daya 92% *lagging*, Perbaikan factor daya pada bus ini direncanakan hingga mencapai 97.8%. Daya reaktif yang akan diinjeksikan diperoleh dari perhitungan di bawah ini:

$$\begin{aligned}\Delta Q &= P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \\ &= 28.026 \times (\tan(\cos^{-1} 0.92) \\ &\quad - \tan(\cos^{-1} 0.978)) \\ &= 28.026 \times 0.2127 \\ &= 5961.13 \text{ kVAR}\end{aligned}$$

Dari perhitungan kapasitor yang akan dikonfigurasi dengan induktor dan resistor, total kapasitor yang dibutuhkan untuk meredam harmonisa bus ini sebesar 5961.13 kVAR. Karena grounding terhubung delta maka nilai kompensasi daya reaktif sebesar 1987.043 kVAR.

Pada bus 581 SS 53 akan direncanakan *Single Tuned Filter* Orde 7 menggunakan parameter satu fasa, sehingga kompensasi daya reaktif sebesar 662 kVAR dipasang dengan hubungan *delta*, pada level tegangan fasa 3.64 kV, sistem tiga fasa dan *grounding* terhubung *delta*. Maka didapatkan perhitungan nilai-nilai dari komponen kapasitor, induktor dan resistor adalah sebagai berikut:

Kapasitor (C)

Diketahui frekuensi fundamental sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V menggunakan 50 Hz.

$$\begin{aligned}kVAR &= \frac{V_{ph}^2}{X_C} \\ kVAR &= V_{ll}^2 \times \omega_0 C \\ C &= \frac{kVAR}{\omega_0 \times V_{ll}^2} \\ &= \frac{5961.13}{2 \times \pi \times 50 \times (3.64 \times 10^3)^2} \\ &= 159.36 \mu F\end{aligned}$$

Induktor (L)

Orde harmonisa yang hendak diredam adalah orde 7 sehingga didapat frekuensi *tuning* sebesar 350 Hz. Pemilihan frekuensi *tuning* untuk meredam harmonisa terkadang memerlukan sedikit toleransi, dalam hal ini dipilih frekuensi *tuning* 347 Hz. Pergeseran frekuensi *tuning* ini diperlukan untuk meng-cover frekuensi harmonisa yang akan diredam agar didapat performa maksimum dari filter. Peredaman harmonisa dengan frekuensi yang akan dituning, maka harus memenuhi syarat resonansi antara komponen induktor dengan kapasitor. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan impedansi yang sekecil-kecilnya untuk *by pass* arus harmonisa menuju *grounding*.

$$\begin{aligned}X_L &= X_C = X_0 \\ \omega_n L &= \frac{1}{\omega_n C} \\ L &= \frac{1}{(\omega_n)^2 C} \\ &= \frac{1}{(2 \times \pi \times 50)^2 \times (159.36 \times 10^{-6})}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= 1.32 \text{ mH} \\ X_L &= \omega_0 \times L \\ &= 2 \times \pi \times 50 \times 1.32 \times 10^{-3} \\ &= 0.415 \Omega\end{aligned}$$

Resistor (R)

Faktor kualitas filter (Q) untuk jenis *Single Tuned Filter* berada dalam rentang 30 sampai 60 dan dipilih Q = 40. Maka nilai resistornya adalah:

$$\begin{aligned}X_L &= X_C = X_0 \\ Q &= \frac{X_L}{R} \\ R &= \frac{X_L}{Q} \\ &= \frac{0.415}{40} = 0.01 \Omega\end{aligned}$$

Dari hasil simulasi tersebut maka diperoleh besar rugi daya pada sistem kelistrikan pabrik Tonasa V, seperti yang ditunjukkan pada grafik berikut ini

Ket : Simulasi 1 = simulasi tanpa filter

Simulasi 2 = simulasi filter terpasang semua

Simulasi 3 = simulasi filter bus 581 SS 51 dilepas

Simulasi 4 = simulasi filter bus 581 SS 52 dilepas

Simulasi 5 = simulasi filter bus 581 SS 53 dilepas

Simulasi 6 = simulasi filter orde 7 terpasang pada bus 581 SS 53

Simulasi 7 = simulasi setelah filter orde 7 terpasang dan 3rd Order C-Type dioff-kan.



Gambar 17. Grafik rugi daya

Dari grafik diatas diperoleh nilai rugi daya yang terbesar diperoleh saat sistem belum terpasang filter harmonisa yaitu sebesar 7.62 MW. Setelah filter harmonisa terpasang sesuai data yang diperoleh dari pabrik Tonasa V, maka rugi daya yang diperoleh turun menjadi 7.12 MW. Setelah sistem ditambah dengan filter untuk harmonisa orde 7 rugi daya turun menjadi 7.01 MW. Rugi daya yang terkecil diperoleh ketika filter untuk harmonisa orde 7

terpasang dan filter *3rd Order C-Type* dioff-kan yaitu sebesar 7 MW.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

1. Besar THD (*Total Harmonik Distortion*) arus dan tegangan pada pabrik semen Tonasa V pada sistem 6.3 kV berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP yaitu:
 - a. Saat sebelum filter harmonisa terpasang yaitu sebesar 4,6 % untuk THD tegangan dan 10 % untuk THD arus.
 - b. Saat setelah filter harmonisa terpasang yaitu sebesar 3,6 % untuk THD tegangan dan 10,5 % untuk THD arus.
2. Jenis harmonisa yang dominan yang muncul pada sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V berdasarkan hasil simulasi menggunakan ETAP yaitu harmonisa orde 7, orde 11 dan orde 13.
3. *Harmonic filter* yang sesuai untuk sistem kelistrikan pabrik semen Tonasa V adalah filter jenis *single tuned* untuk orde 7, orde 11 dan orde 13. Lokasi pemasangan *Harmonic filter* yaitu pada bus 581 SS 51, 581 SS 52, 581 SS 53.
4. Setelah pemasangan filter harmonisa orde 7 nilai THD tegangan sebesar 1.4 % dan nilai THD arus sebesar 10 %

SARAN

1. Bagi Perusahaan
Dari hasil analisis, kami menyarankan agar memasang filter untuk menurunkan konten harmonisa orde ke-7 serta meng-off-kan filter tipe *3rd Order C-Type*. Karena dari hasil simulasi filter tipe *3rd Order C-Type* tidak mempengaruhi sistem secara signifikan setelah pemasangan filter harmonisa orde ke-7.
2. Bagi Universitas
Untuk pengembangan penelitian ini, ada baiknya jika penelitian selanjutnya dilakukan analisis harmonisa pada jaringan distribusi tegangan rendah 0.4 kV pada pabrik semen Tonasa V.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bracale, G Carpinelli, dkk, (2004). *International Convergence on Harmonics and Quality of Power - ICHQP*.
- [2] Grady, W.M and Santoso, S., (2001). *Understanding Power System Harmonics*, IEEE Power Engineering Review, November 2001
- [3] Talacek, P.J. and Watson, N.R., (2002). *Marginal Pricing of Harmonic Injections*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 1, February 2002

- [4] Wolfe, W.H. and Hurley, W.G., (2002). *Power Factor Correction and Harmonic Filtering for AC/DC Converters*, IEEE 2002 28th Industrial Electronic Societ
- [5] Rakhmawati, Renny, dkk, (2007). *Penggunaan Filter Daya Aktif Paralel untuk Kompensasi Harmonisa*. Makassar.
- [6] C. Dugan Roger, dkk, (2004). *Electrical Power Systems Quality, Second Edition*. Downloaded from Digital Engineering Library @ McGraw-Hill.
- [7] Kusko Alexander, Marc T Thompson (2007). *Power Quality in Electrical System*. The Mc-Grow Hills Companies, New York.
- [8] De La Rosa, Francisco C, (2006). *Harmonics And Power Systems* - Copyright 2006 by Taylor & Francis Group, Francis.
- [9] Institut Teknologi Sepuluh November. *Modul Etap Power Plot*, Surabaya, 2008.
- [10] Operation Technology, Inc. *ETAP 5.0.0 ANSI Short Circuit*, Southern California, 2004.